

Emil Fredriksson

70-luvulla rakennetun asuinkerrostalon energia- tehokkuuden parantaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

6.9.2016

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Emil Fredriksson 70-luvulla rakennetun asuinkerrostalon energiatehokkuuden parantaminen 30 sivua + 14 liitettä 6.9.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, suunnittelupainotteinen
Ohjaaja	opettaja Seppo Innanen
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia vuonna 1971 rakennetun As Oy Porvoon Partiomiehentie1:n asuinrakennusten lämmitysenergiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä ja keinoja lämmityskulutuksen vähentämiseen. Kohde muodostuu kahdesta lähes identtisestä rakennuksesta, jotka on rakennettu betonielementeistä. Rakennuksissa on kellari ja kolme asuinkerrosta. Taloyhtiössä on yhteensä 72 asuntoa, 36 asuntoa rakennusta kohden. Rakennuksen kerrosala on 4 760 m² ja asuinpinta-alaa on 3 768 m².</p> <p>Työssä käytetyt työkalut ovat Riuska- ja MagiCad-ohjelmat. Riuska ohjelma asetti pieni haasteita vanhan rakennuksen tekniikan lisäämisessä ohjelmaan.</p> <p>Työn teoreettisessa osassa käsitellään rakentamiseen liittyviä lakeja ja määräyksiä, rakentamiseen asetetut vaatimukset, lämpöhäviöiden ja energiatehokkuuden parantamisen kannattavuuteen liittyviä laskentakaavoja.</p> <p>Laskelmien tuloksia on pohdiskeltu ja vertailtu keskenään, jolloin todettu, että lämmitysverkon tasapainotuksella ja ilmanvaihdon säädöllä on tarkastelluista energiatehokkuuden parantamiskeinoista paras kannattavuus.</p>	
Avainsanat	energiatehokkuus, energiavaatimukset, lämpöhäviöt

Author Title Number of Pages Date	Emil Fredriksson Improving the energy efficiency of an apartment building from the 70's. 30 pages + 14 appendices 6 September 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor	Seppo Innanen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to examine the effects of various energy efficiency improvements in two apartment buildings. There are many ways of improving energy efficiency and this final year project only covered a few of them. The calculations and simulations in this project were done with the RIUSKA- and MagiCad-software.</p> <p>For the thesis, the laws and standards that must be followed in building, as well as the energy requirements of today were studied. The building heat loss calculations were performed and possibilities to reduce heat loss explored. The payback period of each improvement was also calculated.</p> <p>The calculations and simulations were completed with an example apartment house company with two 4 story buildings with a total area of 4760m². The results of the calculations and simulations with the RIUSKA software were collected on sheets that show how the improvements effected on the energy efficiency. This thesis can be used to conclude which improvements are economic for this type of buildings.</p>	
Keywords	energy efficiency, energy requirements, heat losses

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Rakennukset	2
2.1	Yleistietoa tarkasteltavasta taloyhtiöstä	2
2.2	Tekniikka	4
3	Lainsäädäntö ja ohjeet	5
4	Energiatehokkuuden vaatimukset	6
4.1	Rakennusten kokonaisenergiankulutus	6
4.2	Rakennusvaipan ilmanpitävyys	7
4.3	Rakennusten lämmönläpäisykertoimet	7
4.4	Rakennusten lämpöhäviöt	9
4.4.1	Rakennusten vaipan lämpöhäviö	11
4.4.2	Rakennusten vuotoilman lämpöhäviö	11
4.4.3	Rakennusten ilmanvaihdon lämpöhäviö	13
5	Takaisinmaksuajan laskenta	14
5.1	Korollinen takaisinmaksuaika	14
5.2	Takaisinmaksuaika ilman korkoa	14
6	Energiatehokkuuden parantaminen	15
6.1	Ulkoseinän lisälämmöneristäminen	15
6.2	Ilmanvaihdon säätö	15
6.3	Ikkunoiden ja ovien vaihto	16
6.4	Lämmitysverkoston tasapainotus	16
7	Riuska-ohjelmasta	17
8	Tarkasteltavien rakennusten alkuperäinen kunto	19
8.1	Rakennukset alkuperäisessä kunnossa	19
8.1.1	Rakennusten lämmitysjärjestelmä	19
8.1.2	Rakennusten ilmanvaihto	19
8.1.3	Rakennusten ikkunat ja ovet	19
8.1.4	Rakennusten ulkoseinät	20

9	Energiansäästölaskelmat	21
9.1	Rakennusten ikkunoiden ja ovien vaihdon vaikutukset	21
9.2	Rakennusten julkisivuremontin ja lisäeristämisen vaikutukset	21
9.3	Rakennusten lämmitysverkoston tasapainotuksen vaikutukset	22
9.4	Rakennusten ilmanvaihdon säädön vaikutukset	23
9.5	Rakennusten ilmanvaihdon säädön ja lämmitysverkoston tasapainotuksen yhteisvaikutukset	24
9.6	Kaikkien parannuksien yhteisvaikutukset	25
9.7	Yhteenveto	27
10	Pohdintaa	28
	Lähteet	29

Liitteet

- Liite 1. Riuska laskelma, rakennuksen nykytilanne
- Liite 2. Riuska laskelma, lämmitysverkoston tasapainotus
- Liite 3. Riuska laskelma, ilmanvaihdon säätö
- Liite 4. Riuska laskelma, ikkunat ja ovet vaihdettu
- Liite 5. Riuska laskelma, julkisivuremontti lisäeristein ja ikkunat ja ovet vaihdettu
- Liite 6. Riuska laskelma, lämmitysverkoston tasapainotus ja ilmanvaihdon säätö
- Liite 7. Riuska laskelma, julkisivuremontti lisäeristein, ikkunat ja ovet vaihdettu ja lämmitysverkoston tasapainotus ja ilmanvaihdon säätö

1 Johdanto

Työn tavoitteena oli laskea ja vertailla 1970-luvulla rakennetun taloyhtiön asuinkerrosta-
lojen eri energiatehokkuuteen parantamiseen liittyviä toimenpiteitä ja niiden investointien
kannattavuutta.

Laskelmat suoritettiin Riuska-energiasimulointiojelmalla, joka simuloi rakennuksen vuo-
sittaiset energiakulutukset. Investointien takaisinmaksuajan laskennan avulla pystyttiin
helposti hahmottamaan, mitkä toimenpiteet olisivat kannattavia ja siten säästäisivät in-
vestoinnin kustannukset takaisin korkoineen kohtuullisella aikataululla.

2 Rakennukset

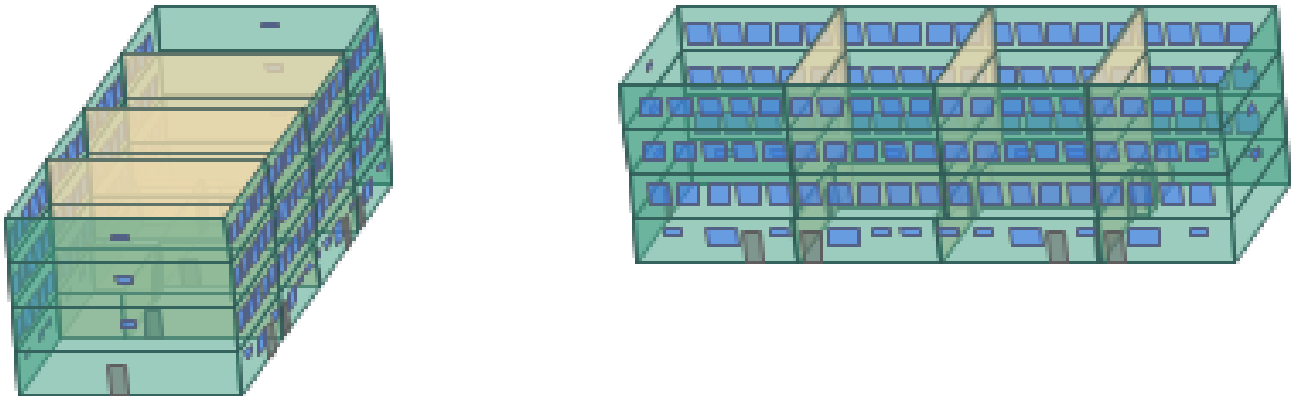
2.1 Yleistietoa tarkasteltavasta taloyhtiöstä

Asunto osakeyhtiö Porvoon Partiomiehentie 1:een kuuluu kaksi asuinkerrostaloa. Kerrostalot ovat identtiset toisen rakennuksen lämmönjakohuonetta lukuunottamatta.

Taloyhtiö on rakennettu betonielementeistä vuonna 1971. Rakennukset muodostuvat kellarista ja kolmesta asuinkerroksesta, jotka ovat toisiinsa nähden identtiset. Kellarissa sijaitsee ulkovälinevarastot, asuntokohtaiset varastot, saunatilat, pyykkitupa ja lämmönjakohuone. Taloyhtiössä on yhteensä 72 asuntoa, 36 asuntoa rakennusta kohden. Kuva 1 ja kuva 2 näyttävät rakennusten sijoittelun ja muodot. Asuntojen koot vaihtelevat 32 m²:sta 72 m²:iin ja lukumääräisesti puolet asunnoista on pinta-alaltaan 55 m². Rakennuksen kerrosala on 4 760 m² ja asuinpinta-alaa on 3 768 m², tiedot näkyvät myös taulukossa 1 [1].

Taulukko 1. Tietoa taloyhtiöstä [1]

Asunto Oy Porvoon Partiomiehentie 1		
Partiomiehentie 1		
06100 Porvoo		
YHTIÖMUOTO:	RAKENNUSTEN LKM	KERROSALA:
Asunto-osakeyhtiö	2kpl	4760 m ²
ASUINHUONEISTOT:		
72 kpl, 3768 m ² , osaketta		
AUTOPAIKAT		
56 kpl		



Kuva 1. Tarkasteltavien rakennusten Riuska-mallit [17].



Kuva 2. As Oy Porvoon Partiomiehentie 1 lounaasta päin kuvattuna.

2.2 Tekniikka

Taloyhtiö on liitetty Porvoon Energia Oy:n kaukolämpöverkoston, joka lämmittää sekä lämmitysverkoston että lämpimän käyttöveden. Lämmönjakojärjestelmänä toimii patteriverkosto. Ilmanvaihto on toteutettu vakioilmavirtaisilla koneellisilla poistoilmakoneilla ns. huippuimureilla ja korvausilma otetaan ikkunapuitteissa olevista korvausilmaventtiileistä. Huippuimureita on yhteensä 16 kpl, 8 kpl rakennusta kohden [1].

3 Lainsäädäntö ja ohjeet

Rakentamista, suunnittelua ja alueiden käyttöä ohjataan vuonna 2000 voimaan tulleella maankäyttö- ja rakennuslailla, joka myös suojaa rakennusperinnön ja kulttuurimaisen. Maankäyttö- ja rakennusasetuksissa sekä ympäristöministeriön asetuksissa eritellen tarkemmat säännökset ja määräykset [2].

Rakentamismääräyksillä ohjataan rakennusten energiankäytön lisäksi myös sisäilman laadun ja rakenteiden kosteusteknisiä toimivuutta. Rakentamismääräyksien lisäksi on paljon opastavia ohjeita, jotka eivät ole velvoittavia, kunhan asetetut vaatimukset täyttyvät. Määräysten toteutumista rakentamisessa valvoo kunnan rakennusvalvonta. Rakentamismääräyskokoelma on myös sovellettu toimimaan rakennuksien korjaus- ja muutostöissä [3; 1; 4].

Rakentamismääräyskokoelmaan kuuluvat seuraavat ryhmät:

- A Yleinen osa
- B Rakenteiden lujuus
- C Eristykset
- D LVI ja energiatalous
- E Rakenteellinen paloturvallisuus
- F Yleinen rakennussuunnittelu
- G Asuntorakentaminen

Rakentamismääräyskokoelman ryhmät on vielä jaettu eri osiin [4].

4 Energiatehokkuuden vaatimukset

Olemassa oleva rakennuskanta on suurin potentiaalinen energiansäästökohde. Euroopan unionin ilmasto- ja energiapolitiikan yleistavoite on saavuttaa 20 %:n säästö energiankulutuksessa ennusteisiin verrattuna vuoteen 2020 [5].

4.1 Rakennusten kokonaisenergiankulutus

Rakennuksen energiankulutus lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 esitetyillä laskennan lähtöarvoilla.

Rakennuksen kokonaisenergiankulutukset lasketaan ja vertaillaan E-lukuna. E-luku on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen laskennallinen vuotuinen ostoenergiankulutus lämmitettyä nettoalaa kohden. E-luku saadaan kertomalla energiamuodon ostoenergia sen energiamuotokertoimella, minkä jälkeen lasketaan kaikki kertoimella painotetut ostoenergiat yhteen. Energiamuotokertoimet näkyvät taulukossa 2.

Taulukko 2. Energiamuotokertoimet [6]

Energiamuodot	Energiamuoto kerroin
- sähkö	1,7
- kaukolämpö	0,7
- kaukojäähdytys	0,4
- fossiiliset polttoaineet	1,0
- uusiutuvat polttoaineet	0,5

Uudisrakennuksen E-luku asuinkerrostaloissa ei saa ylittää arvoa 130 kWh/m² vuodessa [6].

4.2 Rakennusvaipan ilmanpitävyys

Kaikki liitokset ja reiät tulee tiivistää kunnolla jotta vuotokohtien läpi tulevat ilmanvirtaukset eivät aiheuta haittoja rakennukselle tai rakennuksen käyttäjille. Huonosti tiivistetty rakenne on myös haitaksi energiatehokkuudelle, koska kaikki sisälle vuotava ilma joudutaan lämmittämään. Uudisrakennuksissa rakennuksen ilmanvuotoluvun q_{50} tulee olla hyvän sisäilmaston ja energiatehokkuuden kannalta enintään $1 \text{ (m}^3/\text{(h m}^2\text{))}$, mutta jos rakennusvaipan ilmanpitävyyttä ei pystytä osoittamaan esim. mittaamalla, käytetään laskennoissa lukua $4 \text{ (m}^3/\text{(h m}^2\text{))}$. 1970-luvulla rakennetuissa kerrostaloissa energiakulutuksen simuloinnissa käytetään lukua $6 \text{ (m}^3/\text{(h m}^2\text{))}$. Energiatehokkuuden saa laskea pienemmällä ilmanvuotoluvulla jos rakennuksen ilmapitävyyttä voidaan osoittaa mittaamalla vähintään 20 % huoneistoista, tai jos alipaineentuottajana käytetään rakennuksen omat ilmanvaihtokoneet pitää mitata vähintään 75 % lämmitetystä netto-alasta [1; 6].

4.3 Rakennusten lämmönläpäisykertoimet

Mikäli rakenne kuuluu rakennuksen vaippaan lämmönläpäisykerroin saa olla enintään $0,17 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Mikäli pienen rakenteen lujutta ei saada tarpeeksi vahvaksi tai muun erityisen syyn takia, lämmönläpäisykerroin saa ylittää $0,17 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, mutta enintään $0,60 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Pitää myös varmistaa että rakenteen kylmäsillat eivät aiheuta liian korkeaa suhteellista kosteutta rakenteeseen. Ulkoilmaan rajoittuvien ikkunoiden ja ovien lämmönläpäisykerroin saa olla enintään $1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ [6].

Rakennusosan lämmönläpäisykerroin (U-arvo) saadaan laskemalla kaavoilla (4.1), (4.2) ja (4.3).

$$U = \frac{1}{Rt}$$

$$Rt = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

joissa

U on lämmönläpäisykerroin

R_t on rakennusosan kokonaislämmönvastus

R_1, R_2, R_n on rakennusaineiden lämmönvastus

R_{si} on sisäpuolinen pintavastus

R_{se} on ulkopuolinen pintavastus

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1}$$

jossa

d_1 on materiaalin kerrospaksuus

λ_1 on materiaalin lämmönjohtavuus

Esimerkki. Rakennusosan lämmönläpäisykerroin

Rakenne sisältä ulos:

R_1 on betoni 50 mm

R_2 on mineraalivilla 150 mm

R_3 on betoni 70 mm

Betonin lämmönjohtavuus on $0,18 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$, ja mineraalivillan on $0,045 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$, R_{si} on vaakasuoraan $0,13 \text{ (K}^*\text{m}^2) / \text{W}$ ja R_{se} on vaakasuoraan $0,04 \text{ (K}^*\text{m}^2) / \text{W}$. Lämmönvastus lasketaan kaavan (4.3) ja kokonaislämmönvastus kaavan 4.2 mukaan.

$$R1 = \frac{0,05m}{0,18W/(m * K)} = 0,278 \frac{K * m^2}{W}$$

$$R2 = \frac{0,15m}{0,045W/(m * K)} = 3,333 \frac{K * m^2}{W}$$

$$R3 = \frac{0,07m}{0,18W/(m * K)} = 0,389 \frac{K * m^2}{W}$$

$$Rt = 0,13 \frac{K*m^2}{W} + 0,278 \frac{K*m^2}{W} + 2,222 \frac{K*m^2}{W} + 0,389 \frac{K*m^2}{W} + 0,04 \frac{K*m^2}{W} = 4,17 \frac{K*m^2}{W}$$

$$U = \frac{1}{4,17 \frac{K*m^2}{W}} = 0,24 \frac{W}{m^2 * K} \quad (\text{kaavan 4.1 mukaan})$$

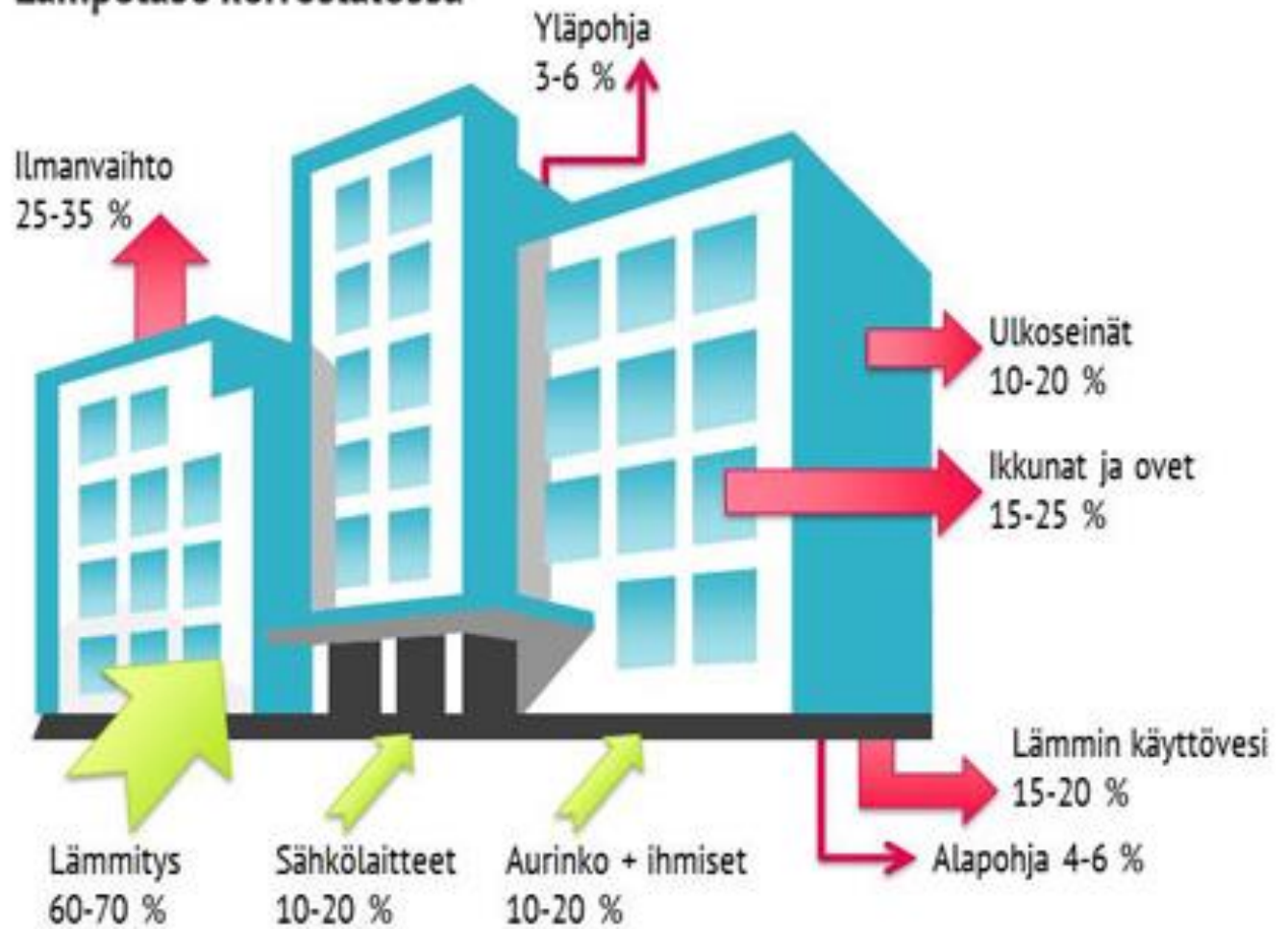
Tässä esimerkkilaskussa seinän U-arvo olisi 0,24 W / (m²*K) [6; 7].

4.4 Rakennusten lämpöhäviöt

Rakennuksen lämpöhäviöihin kuuluu vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon lämpöhäviöt. Lämpöhäviölaskenta suoritetaan tasauslaskelmalla, jolla osoitetaan, että ovat määräysten mukaiset. Lämpimille ja puolilämpimille tiloille lasketaan omat tasauslaskelmat. Tasauslaskelma on, että laskemalla verrataan, että energiatehokkuus pysyy vähintäänkin ennallaan. Esim. jos jonkun osa-alueen energiatehokkuutta heikennetään, sitä pitää kompensoida parantamalla jonkun toisen osaalueen energiatehokkuutta [6].

Rakennuksen vaipan lämpöhäviön osuus lämmitystarpeesta on noin 45 %. Kerrostalon lämpöhäviön suurimmat lämpöhäviöt johtuvat, kuten kuva 3 osoittaa, ilmamääristä. Ilman poistoilman lämmöntalteenottoa ilmanvaihdon lämpöhäviö on tyypillisesti noin 25–35 % talon kokonaislämmitystarpeesta [6; 8].

Lämpötase kerrostalossa



Kuva: Taloyhtiön energiakirja 2012

Kuva 3. Lämmitysenergian osuudet [8]

4.4.1 Rakennusten vaipan lämpöhäviö

Rakennuksen vaipan lämpöhäviölaskennassa lasketaan kaavalla (4.4) ja (4.5).

$$Q_{\text{joht}} = U * A * \Delta T \quad (4.4)$$

$$\Delta T = T_s * T_u \quad (4.5)$$

jossa

Q_{joht} on rakennusosan johtumislämpöhäviö, W

U on rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W / (m² * K)

A on rakennusosan pinta-ala, m².

ΔT on lämpötilaero, K

T_s on rakenneosan sisäpuolen lämpötila, K

T_u on rakennusosan ulkopuolen lämpötila, K

[9]

4.4.2 Rakennusten vuotoilman lämpöhäviö

Rakennuksen vuotoilman lämpöhäviö lasketaan kaavalla (4.6)

$$H_{\text{vuoto}} = \rho_{\text{ilma}} C * q_{v, \text{vuoto}} \quad (4.6)$$

ja vuotoilmavirta $q_{v, \text{vuoto}}$ m³/s kaavalla (4.7).

$$q_{v, \text{vuoto}} = \frac{q_{50}}{3600 * \chi} * A \quad (4.7)$$

jossa

H_{vuoto} on vuotoilman ominaislämpöhäviö, W / K

ρ_{ilma} on vuotoilman tiheys, 1,2 kg/m³

ρ_{ilma} on vuotoilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws / (kg * K)

$q_{v, \text{ vuoto}}$ on vuotoilmavirta, m³/s

q_{50} on rakennusvaipan ilmanvuotoluku (m³/(h*m²))

x on kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmikerroksisille ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille ja korkeimmille rakennuksille 15

3600 on kerroin, joka muuttaa ilmavirran m³/h yksikköön m³/s

A on rakennusvaipan pinta-ala m² [6; 9]

4.4.3 Rakennusten ilmanvaihdon lämpöhäviö

Rakennusten ilmanvaihdon aiheuttamaa lämmitystarvetta lasketaan rakentamismääräyskokoelma D2:n ilmoittamilla ilmamäärillä, tosin vähintään 0,5 kertaa tilan ilmatilavuus tuntia kohden. Yhteenlaskettu tehontarve koko ilmanvaihtojärjestelmälle lasketaan kaavalla (4.8)

$$\phi_{iv} = \rho_i * c_{pi} * q_{v\ tulo} * \Delta T \quad (4.8)$$

ϕ_{iv} on ilmanvaihdon aiheuttama lämpöhäviö, W

ρ_i on ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1 000 J/(kg K)

$q_{v\ tulo}$ on tuloilmavirta, m³/s

ΔT on lämpötilaero, asetettu sisälämpötila – tuloilman lämpötila, K [9; 10]

5 Takaisinmaksuajan laskenta

5.1 Korollinen takaisinmaksuaika

Laskemalla investoinnin korollinen takaisinmaksuaika kaavalla (5.1) saadaan arvio siitä, miten kannattava investointi on. Pitkällä takaisinmaksuajalla olevalla investoinnilla ei pysty edes soveltamaan korollisen takaisinmaksuajan kaavaa, koska investoinnin korot olisivat niin suuret, ettei säästetty energiakulutus kata niitä [18].

$$n = \frac{\ln(\frac{T}{T-H*i})}{\ln(1+i)} \quad (5.1)$$

n on korollinen takaisinmaksuaika, vuosi

T on vuotuiset säästöt, €

H on investoinnin hankintahinta, €

i on korko, % (Lasketaan 5 % korolla).

5.2 Takaisinmaksuaika ilman korkoa

Laskemalla investoinnin takaisinmaksuaika ilman korkoa kaavalla (5.2) saadaan arvio siitä miten kannattava investointi on [18].

$$n = \frac{H}{T} \quad (5.2)$$

jossa

n on koroton takaisinmaksuaika, vuosi

T on vuotuiset säästöt, €

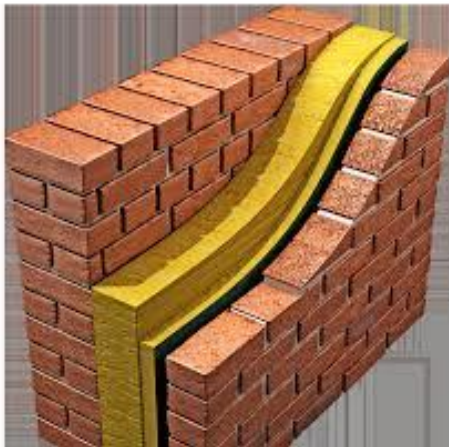
H on investoinnin hankintahinta, €

6 Energiatehokkuuden parantaminen

6.1 Ulkoseinän lisälämmöneristäminen

Ulkoseinään voi lisätä lämmöneristys joko rakenteen sisäpuolelle tai ulkopuolelle. Edellytyksenä on, että ”betonisandwich-julkisivuun” voidaan lisätä lämmöneristettä rakenteen ulkopuolelle on se, että sekä ulkokuori että raudoitukset ovat hyvässä kunnossa, jotta ne kestää uuden lisälämmöneristeen ja uuden ulkopinnan kiinnittämistä siihen. Lisälämmöneristeen tulee saada kiinnitettyä tiiviisti vanhan ulkoseinään kuten kuvassa 4.

Lisäeristetyn seinän lämmönläpäisykerroin saadaan kaavalla (4.1)



Kuva 4. Lämmöneriste on asennettu tiiviisti vanhaan ulkoseinään [11].

6.2 Ilmanvaihdon säätö

Ilmanvaihdon säädöllä tavoitellaan sekä parempaa asumisviihtyvyyttä että energiatehokkuutta. Ilmanvaihdon säädön myötä voidaan varmistaa, että myös ilmanvaihtokanaviston loppupäässä olevien huoneiden ilmanvaihto toimii kuten suunniteltu. Ilmanvaihdon säädön vaikutus energiatehokkuuteen on, että ilma ei vaihdu liiaksi, mikä täten nostaisi lämmitystarvetta. Koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä ilmanvaihdon säätö tehdään tasapainottamalla kanavisto [1; 16].

6.3 Ikkunoiden ja ovien vaihto

Vanhoissa kerrostaloissa ikkunoiden lämmönläpäisykertoimet ovat usein 1,8—2,8 W/(m²*K). Tyypillinen ongelma vanhoissa ikkunoissa ovat vanhat tiivisteet jonka takia ikkunat aiheuttavat vetoa. Toinen ongelma on niiden huono lämmönläpäisykerroin. Ulko-ovet ovat usein lasiaukollisia metallikehysovia, kun taas parvekeovet ovat kaksiovisia, myös lasiaukollisia puuovia [11].

6.4 Lämmitysverkoston tasapainotus

Rakennusten lämmitysverkoston tasapainotuksen tavoite on se, että jokaiseen tilaan saavutetaan tilaan suunniteltu lämpötila. Huoneistojen lämpötilan mittausta on suoritettu ulkolämpötilan ollessa —5 °C, jolloin tilojen lämpötilat ovat 18—27 °C, josta noin kolmasosa oli yllilämpöisiä ja noin kuudesosa alilämpöisiä. Tasapainotus säästää lämmityskustannuksissa, kun liian lämpimien tilojen lämpötilat saadaan laskettu normaaliksi. Liian viileissä tiloissa saadaan lämpötila nostetuksi normaaliksi, jolloin lämmityskustannukset nousevat mutta ei yhtä paljon kuin äskeinen säästö. Asumisviihtyvyys paranee, kun tiloissa on oikeat lämpötilat, ja tarve avata tuuletusikkunoita poistuu. Kun rakennuksen sisälämpötilan laskee yhdellä asteella, lämmityskulut vähenevät noin viidellä prosentilla [1; 14].

7 Riuska-ohjelmasta

Riuska-ohjelma on Olof Granlund Oy:n ja Yhdysvaltain energiaministeriön rahoittaman tutkimuslaitoksen Lawrence Berkeley National Laboratoryn yhteistyössä kehittämä simulointiohjelma. Ohjelma on olosuhde- ja energiasimulointiohjelma, joka on tarkoitettu apuvälineeksi erilaisten suunnittelu-, materiaali- ja laitevaihtoehtojen vertailuun, järjestelmien mitoittamiseen sekä energiankulutuksen laskemiseen. Ohjelmalla voidaan simuloida erilaisien rakennuksien lämpöteknistä käyttäytymistä muuttuvissa sää- ja kuormitustilanteissa sekä simuloida tilojen viihtyvyys- ja lämpöhäviölaskelmia. Ohjelmaan tuodaan esim. MagiCad Room -ohjelmalla suunniteltujen rakennuksien tietomallit IFC-muodossa. IFC on kansainvälinen rakennusalan standardi tiedonsiirtoon tietokoneohjelmasta toiseen. Ohjelma on jokseenkin hankala soveltaa vanhaan tekniikkaan, esimerkiksi korvausilman lämpötilan asetuksessa ohjelma ei halua hyväksyä ulkoilman lämpötilaa, jota ei ole esilämmitetty lämmöntalteenotolla tai jälkilämmittimellä kuten uudisrakentamisessa. Kuvat 5 ja 6 osoittavat, miltä Riuska-ohjelma näyttää käytössä [17].

The screenshot displays the Riuska software interface. At the top, there are tabs for 'Tiedosto', 'Kirjastot', 'Asetukset', 'Työkalut', 'Tulokset', and 'Ohje'. Below these, a project overview section shows the current project name '13.4.2016 20:06:20 Emil g' and the calculation method '4. (2016-04-14 19:21 Emil) nykytilanne'. The main workspace is divided into three panels. The left panel shows a tree view of the building model, including 'Rakennus (4 kerrosta, 36 tilaa, 4629 m², 13887 m³)', 'Kerros 4 (3000 mm, 8 tilaa, 1158 m², 3475 m³)', 'Kerros 3 (6000 mm, 8 tilaa, 1158 m², 3475 m³)', 'Kerros 2 (3000 mm, 8 tilaa, 1158 m², 3475 m³)', 'Kerros 1 (0 mm, 12 tilaa, 1154 m², 3462 m³)', 'Järjestelmät', 'Ilmanvaihdon palvelualueet (1 kpl, 36 tilaa, 4629 m², 13887 m³)', and 'Ilmanvaihto, palvelualue 1 (36 tilaa, 4629 m², 13887 m³) Energialaskenta: 201'. The middle panel is a large table with columns for 'Kerros', 'Tilan tunnus', 'Tilan nimi', 'm²', 'm³', 'max dm³/s', 'min dm³/s', 'max dm³/(s m²)', 'min dm³/(s m²)', 'W', 'W/m²', '1/h', 'K/m', 'Tilatyyppi', 'Laatutaso', 'max °C', and 'Laskettu'. The table lists various rooms and their parameters. The right panel shows a 3D model of the building. Below the 3D model, there are two tables. The first table is titled 'Tilan rakenteet' and has columns for 'Seinärakenne', 'Käsitötyyppi', 'Tila', 'Bruttoala m²', 'Suuntaus 0...359°', 'Käyttövuosi 0...180°', 'Ikkuna m²', and 'Ovi m²'. The second table is titled 'Ikkuna- tai ovirakenne' and has columns for 'Käsitötyyppi', 'Tila', 'm²', 'Ikkunan upotus mm', 'Ikkunan pulte', 'Ikkunan sälekahdin', 'Ikkunan peittolevy', and 'Ikkunan lipat'. The bottom right corner of the interface shows the file size '5,6 MB'.

Kuva 5. Kuvakaappaus Riuska-ohjelmasta [17].

The screenshot displays the Riuska software interface. On the left, a 3D model of a building is shown. Above it, a list of rooms is visible, including 'Kerros 4 (9000 mm, 8 tilaa, 1158 m², 3475 m³)' and 'Kerros 3 (6000 mm, 8 tilaa, 1158 m², 3475 m³)'. The main window shows a detailed specification for a window (D04) with various parameters like area, volume, height, and thermal properties. A table on the right lists room data, including room number, area, volume, and energy consumption. The bottom status bar indicates the current room is 'Kerros 4 (9000 mm, 8 tilaa, 1158 m², 3475 m³)' and the total energy consumption is 5,6 MB.

Tiedot:

- Tunnus: D04
- Nimi: D 3KRS
- Pinta-ala [m²]: 129,2
- Tilavuus [m³]: 387,5
- Korkeus [m]: 0,175
- Vuotoilmakerroin [1/h]: 0,175
- Vuotoilman aikataulu: VUO: ma-su 24h (100%)
- Ilmavirta: [dm³/s]: 1,0 / 1,0 max / min
- Jäähdytysteho: [W]: 999999
- Lämmityksen asetusarvon aikataulu: Asetusarvo: dT = 0 C
- Lämpötilakerrostuma [K/m]: 0,00
- Tilatyyppi: (D3) Asuinkeuhasto22
- Sisäilman laatu: +22
- Jäähdytys, asetus/suunnitteluarvo: 26,9 / 27,0 °C
- Lämmitys, asetus/suunnitteluarvo: 22,0 / 22,0 °C
- Ilmavirta, min: 0,5 dm³/(s m²)

W	W/m²	1/h	K/m	Tilatyyppi	Laatutaso	max °C	Laakettu
0	0,0	0,169	0,00	(D3) Asuinke...	25,5	25,6	2016-04-24 22:02
0	0,0	0,141	0,00	(D3) Asuinke...	+22	22,1	2016-04-24 22:02
0	0,0	0,141	0,00	(D3) Asuinke...	19	19,1	2016-04-24 22:02
0	0,0	0,175	0,00	(D3) Asuinke...	+22	22,1	2016-04-24 22:02
0	0,0	0,169	0,00	(D3) Asuinke...	+22	22,1	2016-04-24 22:02
0	0,0	0,141	0,00	(D3) Asuinke...	+22	22,1	2016-04-24 22:02
0	0,0	0,141	0,00	(D3) Asuinke...	19	19,1	2016-04-24 22:02
0	0,0	0,175	0,00	(D3) Asuinke...	25,5	25,6	2016-04-24 22:02
0	0,0	0,069	0,00	(D3) Asuinke...	25,5	25,6	2016-04-24 22:02
0	0,0	0,041	0,00	(D3) Asuinke...	+22	22,1	2016-04-24 22:02
0	0,0	0,041	0,00	(D3) Asuinke...	19	19,1	2016-04-24 22:02
0	0,0	0,075	0,00	(D3) Asuinke...	+22	22,1	2016-04-24 22:02
0	0,0	0,069	0,00	(D3) Asuinke...	+22	22,1	2016-04-24 22:02
0	0,0	0,041	0,00	(D3) Asuinke...	+22	22,1	2016-04-24 22:02
0	0,0	0,041	0,00	(D3) Asuinke...	19	19,1	2016-04-24 22:02
0	0,0	0,075	0,00	(D3) Asuinke...	25,5	25,6	2016-04-24 22:02
0	0,0	0,069	0,00	(D3) Asuinke...	25,5	25,6	2016-04-24 22:02
0	0,0	0,041	0,00	(D3) Asuinke...	+22	22,1	2016-04-24 22:02

Tila	Bruttoala m²	Suuntaus 0...359°	Kaltevuus 0...180°	Ikkuna m²	Ovi m²
26,361	→	110	90	8,960	
44,100					
26,361	←	290	90	6,720	
44,100	↓	200	90	0,400	
129,163					
129,163	↓	200	0		

Ikkuina- tai ovirakenne	Kirjastotyyppi	Tila	m²	Ikkuinen upotus mm	Ikkuinen puite	Ikkuinen sälekkähdin	Ikkuinen peittolevy	Ikkuinen lipat

Tilan sijainti: Ilmanvaihto, palvelualue 1

5,6 MB

Kuva 6. Kuvakaappaus Riuska-ohjelmasta [17].

8 Tarkasteltavien rakennusten alkuperäinen kunto

8.1 Rakennukset alkuperäisessä kunnossa

Rakennukset kuluttavat tällä hetkellä noin 896,5 MWh vuodessa, mikä tarkoittaa E-lukuna 170 kWh/m² (liite 1). Kaukolämmön hinta (1.8.2015 alkaen) on 66,28 €/MWh tarkoittaen lämmityksen kustannukseksi noin 59 420 € vuodessa [1; 13].

8.1.1 Rakennusten lämmitysjärjestelmä

Rakennusten sisälämpötilat ovat talvisin kylmimmässä huoneistossa 17 °C ja lämpimimmässä huoneistossa 27 °C. Usean huoneiston patteriventtiileissä termostaatin säätöneulat jumittuvat kesän jälkeen kiinni-asentoon, jolloin lämmitysvesi ei kierrä patterissa ennen kuin huoltomies on käynyt putsaamassa neulat. Lämmitysverkoston kuntokartoituksen avulla olisi mahdollista selvittää putkiston kunto ja tarvittavat toimenpiteet, esim. verkstopuhdistuslaitteiston asennus [1].

8.1.2 Rakennusten ilmanvaihto

Ilmanvaihto vaikuttaa olevan kunnossa, mutta arvellaan että ylimmässä kerroksissa ilma vaihtuu n. 15 % enemmän kuin on suunniteltu ja kuin rakentamismääräyskokoelman osassa D2 on määrätty. Ensimmäisissä asuinkerroksissa (2/4 krs) arvellaan, että ilma vaihtuu n. 5 % vähemmän kuin on suunniteltu [1].

8.1.3 Rakennusten ikkunat ja ovet

Rakennusten ikkunat ja ovet ovat vanhat ja huonosti lämpöeristetyt. Asukkailta saadun palautteen mukaan ikkunoiden lähettyviltä on selkeästi havaittavissa vetoa, minkä ikkunoiden ympärillä olevat pölymerkit vahvistavat todeksi. Ikkunoiden puitteet ja karmit ovat ikäänsä nähden hyvässä kunnossa. Ilmanvaihdon korvausilmaventtiilit, jotka sijaitsevat ikkunoiden yläpuiteissa, ovat ajan saatossa keränneet niin paljon pölyä, että tarvitsevat kunnollista puhdistusta. Ulko-ovet ovat lasiaukollisia metallikehysovia. Ovet vuotavat paljon ilmaa ja tarvitsisivat uudet tiivisteet. Ovien tiivistämiseen liittyy iso riski, etteivät ovet aina mene kunnolla kiinni ja näin ollen eivät mene lukkoon [1].

8.1.4 Rakennusten ulkoseinät

Rakennusten ulkoseinät ovat mallia ”betonisandwich”, joiden lämmönläpäisykerroin on laskettu olevan n. $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Asukaskyselyyn vastanneista suuri osa toivoisi julkisivuremontin lisäeristein lähitulevaisuudessa nuorentaakseen rakennusten yleisilmettä, samalla säästäen lämmityskustannuksissa [1].

9 Energiansäästölaskelmat

9.1 Rakennusten ikkunoiden ja ovien vaihdon vaikutukset

Rakennusten ikkunoiden ja ovien vaihto energiataloudellisempiin hinnaksi on arvioitu n. 75 €/hm². Huoneistoneliömetrejä on 3 768 m², joten investointikustannukset olisivat 282 600 €. Laskelmien mukaan (liite 4) energiansäästö tällä investoinnilla olisi 72,1 MWh/vuosi, tarkoittaen 4 780 €/vuosi.

Takaisinmaksuaika (kaava 5.2)

$$n = \frac{H}{T}$$

n on koroton takaisinmaksuaika, vuosi

T on vuotuiset säästöt, 4 780 €

H on investoinnin hankintahinta, 282 600 €

$$n = \frac{282\,600\text{€}}{4\,778,79\text{€}} = 59,1 \text{ vuotta}$$

Ikkunoiden ja ovien vaihdon koroton takaisinmaksuaika olisi 59 vuotta. Uudistuksen myötä veto ikkunoiden läheisyydessä pienenee ja viihtyisyys paranee.

9.2 Rakennusten julkisivuremontin ja lisäeristämisen vaikutukset

Rakennusten julkisivuremontin, lisäeristämisen ja ikkunoiden ja ovien vaihdon hinnaksi on arvioitu 375 €/hm². Huoneistoneliömetrejä on 3 768 m², joten investointikustannukset olisivat 1 413 000 €. Laskelmien mukaan (liite 5) energiansäästö tällä investoinnilla olisi 176,1 MWh/vuosi, tarkoittaen 11 670 €/vuosi.

Takaisinmaksuaika (5.2)

$$n = \frac{H}{T}$$

n on koroton takaisinmaksuaika, vuosi

T on vuotuiset säästöt, 11 670 €

H on investoinnin hankintahinta, 1 413 000 €

$$n = \frac{1\,413\,000\text{€}}{11\,670\text{€}} = 121,1 \text{ vuotta}$$

Investoinnin koroton takaisinmaksuaika olisi 121 vuotta.

9.3 Rakennusten lämmitysverkoston tasapainotuksen vaikutukset

Rakennusten lämmitysverkoston tasapainotuksen hinnaksi on arvioitu n. 20 000 €. Laskelmien mukaan (liite 2) tämä vähentäisi lämmönkulutusta 102,3 MWh vuodessa, tarkoittaen 6 780 € vuodessa.

Takaisinmaksuaika

Tasapainotuksen takaisinmaksuaika lasketaan 5 %:n vuosikorolla kaavalla (5.1).

$$n = \frac{\ln(\frac{T}{T-H*i})}{\ln(1+i)}$$

n on korollinen takaisinmaksuaika, vuosi

T on vuotuiset säästöt, 6 780 €

H on investoinnin hankintahinta, 20 000 €

i on korko, 5 % = 0.05

$$n = \frac{\ln(\frac{6780\text{€}}{6780\text{€}-20000\text{€}*0,05})}{\ln(1+0,05)} = 3,3\text{vuotta}$$

Lämmitysverkoston tasapainotus lainarahalla, 5 %:n vuosittaisella korolla maksaisi itsensä takaisin 3,3 vuodessa. Ennen tasapainotukseen ryhtymistä tulisi lämmitysverkosto kuntokartoittaa, jossa selviäisi, kannattaako verkostoa ylipäättänsä kunnostaa. Lämmitysverkoston tasapainotuksen takaisinmaksuajan laskennassa tulee myös huomioida lämmitysverkoston kunto, eli kannattaisiko uusia koko lämmitysverkosto.

9.4 Rakennusten ilmanvaihdon säädön vaikutukset

Rakennusten ilmanvaihdon säädön hinnaksi oli arvioitu n. 55 000 €. Laskelmien mukaan (liite 3) tämä vähentäisi lämmönkulutusta 82,3 MWh vuodessa, tarkoittaen 5 440 € vuodessa.

Takaisinmaksuaika

Ilmanvaihdon säädön takaisinmaksuaika lasketaan 5 %:n vuosikorolla kaavalla (5.1).

$$n = \frac{\ln(\frac{T}{T-H*i})}{\ln(1+i)}$$

n on korollinen takaisinmaksuaika, vuosi

T on vuotuiset säästöt, 5 440 €

H on investoinnin hankintahinta, 55 000 €

i on korko, 5 % = 0.05

$$n = \frac{\ln(\frac{5440\text{€}}{5440\text{€}-55\,000\text{€}*0,05})}{\ln(1+0,05)} = 14,4 \text{ vuotta}$$

Ilmanvaihdon säädön korollinen takaisinmaksuaika 5 %:n vuosittaisella korolla olisi 14,4 vuotta. Samalla tulisi suorittaa kanaviston nuohous, ellei sitä ole vastikään tehty.

9.5 Rakennusten ilmanvaihdon säädön ja lämmitysverkoston tasapainotuksen yhteisvaikutukset

Rakennusten ilmanvaihdon säädön hinnaksi oli arvioitu n. 55 000 € ja lämmitysverkoston tasapainotuksen hinnaksi 20 000 €, eli yhteensä 75 000 €. Laskelmien mukaan (liite 6) tämä vähentäisi lämmönkulutusta 153,5 MWh vuodessa, tarkoittaen 10 170 € vuodessa.

Takaisinmaksuaika

Ilmanvaihdon säädön ja lämmitysverkoston tasapainoituksen takaisinmaksuaika lasketaan 5 %:n vuosikorolla kaavalla (5.1).

$$n = \frac{\ln(\frac{T}{T-H*i})}{\ln(1+i)}$$

n on korollinen takaisinmaksuaika, vuosi

T on vuotuiset säästöt, 10 170 €

H on investoinnin hankintahinta, 75 000 €

i on korko, 5 % = 0.05

$$n = \frac{\ln(\frac{10\,170\text{€}}{10\,170\text{€}-75\,000\text{€}*0,05})}{\ln(1+0,05)} = 9,4 \text{ vuotta}$$

Ilmanvaihdon säädön ja lämmitysverkoston tasapainoituksen yhteinen takaisinmaksuaika lainarahalla, 5 %:n vuosittaisella korolla, olisi 9,4 vuotta.

9.6 Kaikkien parannuksien yhteisvaikutukset

Rakennusten julkisivuremontin, lisäeristämisen, ikkunoiden ja ovien vaihdon, ilmanvaihdon säädön ja lämmitysverkoston tasapainoituksen hinnaksi on arvioitu yhteensä 1 488 000 €. Laskelmien mukaan (liite 7) energiansäästö tällä investoinnilla olisi 294,5 MWh/vuosi, tarkoittaen 19 520 €/vuosi.

Takaisinmaksuaika (5.2)

$$n = \frac{H}{T}$$

n on koroton takaisinmaksuaika, vuosi

T on vuotuiset säästöt, 19 520 €

H on investoinnin hankintahinta, 1 488 000 €

$$n = \frac{1\,488\,000\text{€}}{19\,520\text{€}} = 76,2\text{vuotta}$$

Investoinnin koroton takaisinmaksuaika olisi 76 vuotta.

9.7 Yhteenveto

Rakennusten energiasäästötoimenpiteiden kannattavuus vaihtelee suuresti, kuten taulukko 3 näyttää. Toimenpiteet ovat osittain hankalasti toisiinsa verrattavissa, sillä eräissä tapauksissa investointikustannuksien korot ovat suuremmat kuin toteutuneet säästöt energiakulutuksessa. Myöskään toimenpiteiden hyödyt eivät ole pelkästään taloudelliset, vaan ne myös lisäävät rakennuksen arvoa ja ennen kaikkea parantavat asumisviihtyvyyttä [11; 18].

Taulukko 3. Energiasäästölaskelmat

Energiasäästö toimenpiteet	Investointi kustannukset	Vuosittaiset säästöt	Koroton takaisinmaksuaika	Korollinen takaisinmaksuaika
Ikkunoiden ja ovien vaihto	282 600 €	4 778,79 €	59,1 vuotta	-
Julkisivuremontti lisäeristein	1 413 000 €	11 671,91 €	121,1 vuotta	-
Lämmitysverkoston tasapainotus	20 000 €	6 780,40 €	2,9 vuotta	3,3 vuotta
Ilmanvaihdon säätö	55 000 €	5 454,84 €	10,1 vuotta	14,4 vuotta
Lämmitysverkoston ja ilmanvaihdon säätö	75 000 €	10 173,79 €	7,4 vuotta	9,4 vuotta
Kaikkien parannuksien yhtiesvaikutukset	1 488 000 €	19 519,46 €	76,2 vuotta	-

10 Pohdintaa

Markkinoilla on paljon vaihtoehtoja energiansäästöön, kaikki keinot eivät kuitenkaan sovi kaikille talotyypeille, koska talot ovat melko pitkälle kaikki erilaisia tavalla tai toisella. Joten jokaiselle rakennukselle pitää selvittää, mikä tai mitkä toimenpiteet sopivat rakennukseen. Toimenpiteiden takaisinmaksuajat vaihtelevat paljon, yli 20—25 vuoden takaisinmaksuajalla olevaa remonttia ei kannata suorittaa energiasäästötoimenpiteenä, mikäli kyseinen rakenne tai järjestelmä on muuten hyvässä kunnossa eikä tarvetta peruskorjaukselle ole. Jos on tarvetta esimerkiksi julkisivun korjauksille, kannattaa samalla asentaa lisälämmöneriste.

Takaisinmaksuajan laskennassa kaikkiin parannuksiin korollista takaisinmaksuaikaa ei voi edes soveltaa, koska parannuksien myötä saavutetut vuosittaiset säästöt eivät katkaisi edes investointikustannuksien korkoja.

Rakennusten julkisivu remontin takaisinmaksuaika olisi yli 120 vuotta, eli pitempi kun julkisivun arvioitu kesto, jonka on arvioitu olevan noin 70 vuotta. Tämän takia lisälämmöneristäminen ei ole kannattava, mikäli julkisivulle ei ole muita korjaustarpeita.

Lyhyimmät takaisinmaksuajat on tarkasteluni mukaan lämmitysverkoston tasapainotuksella ja ilmanvaihdon säädöllä. Näiden takaisinmaksuajat olisivat lämmitysverkoston tasapainotuksen osalta 3,3 vuotta, ja ilmanvaihdon säädön osalta 14,4 vuotta. Mikäli molemmat parannukset tehtäisiin yhdessä, takaisinmaksuaika olisi 9,4 vuotta, mutta takaisinmaksun jälkeen lämmitysenergian säästö olisi noin 10 000 € vuodessa.

Lähteet

- 1 Wendelin, Frank. 2015. Isännöitsijä. Reim Porvoo. Keskustelu. Kesäkuu 2015.
- 2 Lainsäädäntö ja ohjeet. 2016. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/> Päivitetty 29.3.2016. Luettu 2.4.2016.
- 3 Määräykset. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy <www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/maaraykset> Päivitetty 15.1.2016. Luettu 2.4.2016.
- 4 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2016. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <www.ym.fi/fi-fi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma> Päivitetty 22.4.2016. Luettu 24.4.2016.
- 5 Energiatehokkuusdirektiivit. 2012. Verkkodokumentti. Euroopan parlamentti. <www.eu-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:FI:PDF> Päivitetty 14.11.2012. Luettu 4.4.2016.
- 6 Rakennusten energiatehokkuus 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 7 Lämmöneristys 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C4. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 8 Lämmitysenergiakulutus. 2015. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiöt/energiaeksperttitoiminta/tietoja_energian_ja_vedenkulutuksesta/lammitysenergiankulutus> Päivitetty 16.07.2015. Luettu 4.4.2016.
- 9 Rakennuksen energiskulutuksen ja lämmitystarpeen laskenta 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 10 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 11 Tutkimusraportti Rakennuksen ulkovaipan energiakorjaukset. 2010. Verkkodokumentti. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. <www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2010/VT-R-04017-10.pdf> Päivitetty 18.6.2010. Luettu 10.4.2016.
- 12 Energiatehokas ilmanvaihto. 2015. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <www.motiva.fi/files/3180/Energiatehokas_ilmanvaihto.pdf> Luettu 10.4.2016.

- 13 Suomalaisen rakennusten energiakorjausmenetelmät ja säästöpotentiaalit. 2007. Verkkodokumentti. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. <www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2377.pdf> Luettu 12.4.2016.
- 14 Lämmitysverkoston perussäätö. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <www.motiva.fi/files/7976/Lammitysverkoston_perussaato.pdf> Luettu 12.4.2016.
- 15 Kaukolämmön hinnasto. 2016. Verkkodokumentti. Porvoon Energia Oy. <www.porvoonenergia.fi/fi/hinnastot/kaukolampohinnastoporvoo> Luettu 15.4.2016.
- 16 Koneellisen ilmanvaihdon parantaminen. 2016. Verkkodokumentti. Taloyhtiöt.net. <www.taloyhtio.net/talotekniikka/iv/konepoistoparantaminen/> Luettu 25.4.2016.
- 17 Riuska energiasimulointisovellus. 2016. Granlund Oy. Versio 4.9.0.43.
- 18 Sormunen Pia. 2013. Talotekniikan elinkaaritalous. Luentomoniste. Metropolian Ammattikorkeakoulu. Marraskuu 2013.

DATA:

Kuorma	Kust. jaottelu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	MWh
Lämmin käyttövesi	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Lämmitys, muu	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Lämmitys, tilat	Kiinteistö	142,918	127,014	119,837	66,241	29,049	13,729	4,924	12,206	35,551	75,758	110,581	131,840	869,6
Lämmitys, IV-koneet	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Jäähdytysenergia	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Puhallinsähkö	Kiinteistö	4,293	3,877	4,293	4,154	4,293	4,154	4,293	4,293	4,154	4,293	4,154	4,293	50,5
LVI, muu sähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Laitesähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Valaistussähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Laitesähkö	Käyttäjä	1,378	1,244	1,378	1,333	1,378	1,333	1,378	1,378	1,333	1,378	1,333	1,378	16,2
Valaistussähkö	Käyttäjä	2,066	1,866	2,066	2,000	2,066	2,000	2,066	2,066	2,000	2,066	2,000	2,066	24,3
Yhteenveto:														MWh
Lämmitysenergia		143	127	120	66	29	14	5	12	36	76	111	132	870
Jäähdytysenergia		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LVI, muu sähkö		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	51
Valaistussähkö		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
Laitesähkö		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
Kiinteistö- ja käyttäjäsjähkö														MWh
Kiinteistösähkö		4,3	3,9	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3	50,5
Käyttäjäsähkö		3,4	3,1	3,4	3,3	3,4	3,3	3,4	3,4	3,3	3,4	3,3	3,4	40,5

DATA:

Kuorma	Kust. jaottelu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	MWh
Lämmin käyttövesi	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Lämmitys, muu	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Lämmitys, tilat	Kiinteistö	135,646	120,444	112,583	59,348	22,568	8,889	1,826	7,391	28,655	68,618	103,603	124,589	794,2
Lämmitys, IV-koneet	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Jäähdytysenergia	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Puhallinsähkö	Kiinteistö	4,293	3,877	4,293	4,154	4,293	4,154	4,293	4,293	4,154	4,293	4,154	4,293	50,5
LVI, muu sähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Laitesähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Valaistussähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Laitesähkö	Käyttäjä	1,378	1,244	1,378	1,333	1,378	1,333	1,378	1,378	1,333	1,378	1,333	1,378	16,2
Valaistussähkö	Käyttäjä	2,066	1,866	2,066	2,000	2,066	2,000	2,066	2,066	2,000	2,066	2,000	2,066	24,3
Yhteenveto:														MWh
Lämmitysenergia		136	120	113	59	23	9	2	7	29	69	104	125	794
Jäähdytysenergia		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LVI, muu sähkö		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	51
Valaistussähkö		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
Laitesähkö		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
Kiinteistö- ja käyttäjänsähkö														MWh
Kiinteistösähkö		4,3	3,9	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3	50,5
Käyttäjäsähkö		3,4	3,1	3,4	3,3	3,4	3,3	3,4	3,4	3,3	3,4	3,3	3,4	40,5

Liite 3
2 (2)

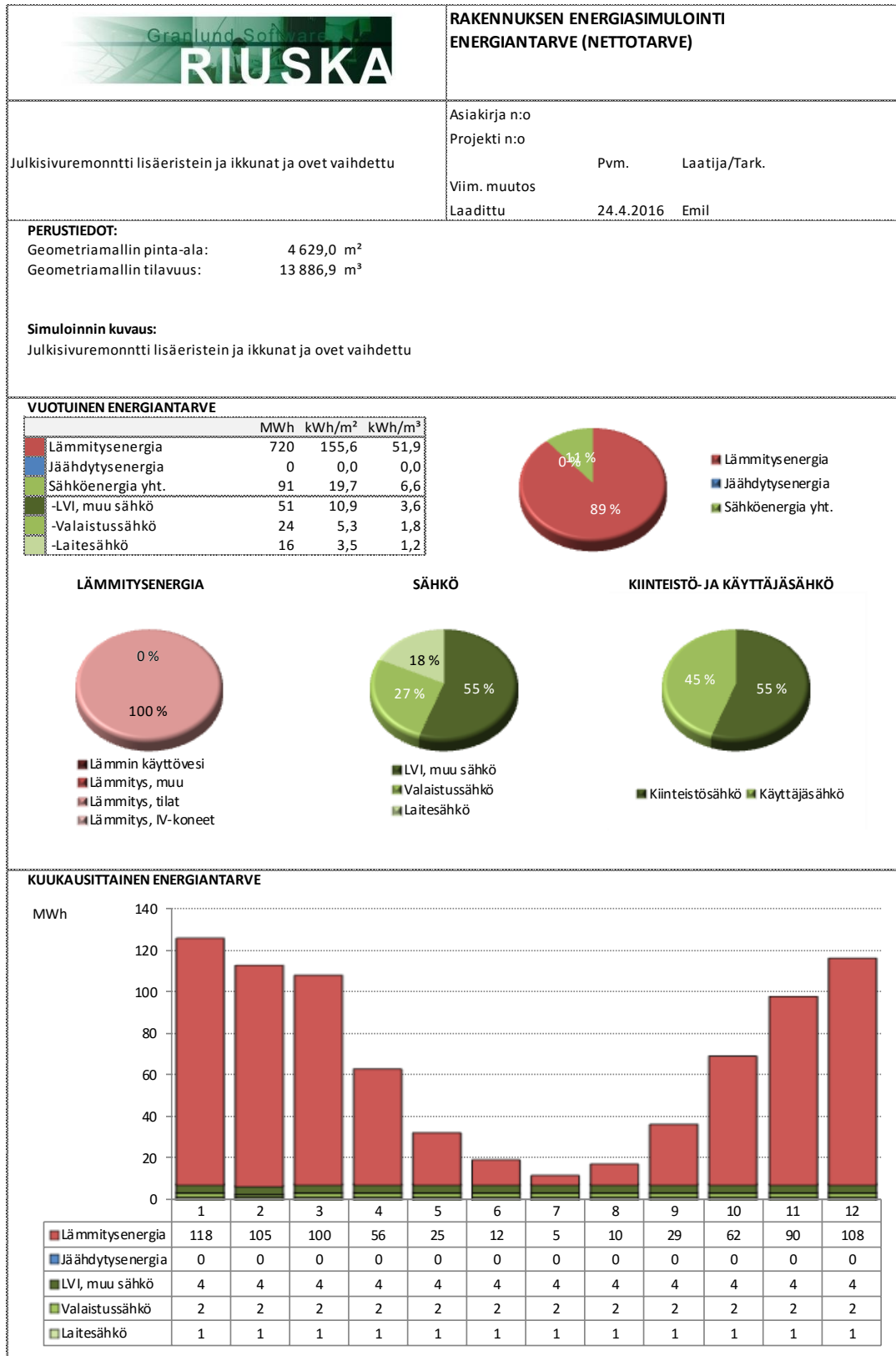
DATA:

Kuorma	Kust. jaottelu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	MWh
Lämmin käyttövesi	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Lämmitys, muu	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Lämmitys, tilat	Kiinteistö	131,419	116,349	109,031	59,151	24,847	11,523	4,075	10,302	31,140	69,175	101,559	121,243	789,8
Lämmitys, IV-koneet	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Jäähdytysenergia	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Puhallinsähkö	Kiinteistö	3,656	3,302	3,656	3,538	3,656	3,538	3,656	3,656	3,538	3,656	3,538	3,656	43,0
LVI, muu sähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Laitesähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Valaistussähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Laitesähkö	Käyttäjä	1,378	1,244	1,378	1,333	1,378	1,333	1,378	1,378	1,333	1,378	1,333	1,378	16,2
Valaistussähkö	Käyttäjä	2,066	1,866	2,066	2,000	2,066	2,000	2,066	2,066	2,000	2,066	2,000	2,066	24,3
Yhteenveto:														MWh
Lämmitysenergia		131	116	109	59	25	12	4	10	31	69	102	121	790
Jäähdytysenergia		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LVI, muu sähkö		4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	43
Valaistussähkö		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
Laitesähkö		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
Kiinteistö- ja käyttäjä-sähkö														MWh
Kiinteistösähkö		3,7	3,3	3,7	3,5	3,7	3,5	3,7	3,7	3,5	3,7	3,5	3,7	43,0
Käyttäjäsähkö		3,4	3,1	3,4	3,3	3,4	3,3	3,4	3,4	3,3	3,4	3,3	3,4	40,5

DATA:

Kuorma	Kust. jaottelu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	MWh
Lämmin käyttövesi	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Lämmitys, muu	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Lämmitys, tilat	Kiinteistö	129,455	115,855	110,310	62,483	28,662	13,894	5,292	11,948	33,738	68,813	99,972	119,205	799,6
Lämmitys, IV-koneet	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Jäähdytysenergia	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Puhallinsähkö	Kiinteistö	4,293	3,877	4,293	4,154	4,293	4,154	4,293	4,293	4,154	4,293	4,154	4,293	50,5
LVI, muu sähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Laitesähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Valaistussähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Laitesähkö	Käyttäjä	1,378	1,244	1,378	1,333	1,378	1,333	1,378	1,378	1,333	1,378	1,333	1,378	16,2
Valaistussähkö	Käyttäjä	2,066	1,866	2,066	2,000	2,066	2,000	2,066	2,066	2,000	2,066	2,000	2,066	24,3
Yhteenveto:														MWh
Lämmitysenergia		129	116	110	62	29	14	5	12	34	69	100	119	800
Jäähdytysenergia		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LVI, muu sähkö		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	51
Valaistussähkö		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
Laitesähkö		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
Kiinteistö- ja käyttäjäsähkö														MWh
Kiinteistösähkö		4,3	3,9	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3	50,5
Käyttäjäsähkö		3,4	3,1	3,4	3,3	3,4	3,3	3,4	3,4	3,3	3,4	3,3	3,4	40,5

Riuska laskelma, julkisivuremontti lisäeristein, ikkunat ja ovet vaihdettu



Liite 5
2 (2)

DATA:

Kuorma	Kust. jaottelu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	MWh
Lämmin käyttövesi	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Lämmitys, muu	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Lämmitys, tilat	Kiinteistö	117,548	105,289	99,981	55,962	25,155	12,183	4,642	10,209	29,474	61,560	90,359	108,022	720,4
Lämmitys, IV-koneet	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Jäähdytysenergia	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Puhallinsähkö	Kiinteistö	4,293	3,877	4,293	4,154	4,293	4,154	4,293	4,293	4,154	4,293	4,154	4,293	50,5
LVI, muu sähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Laitesähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Valaistussähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Laitesähkö	Käyttäjä	1,378	1,244	1,378	1,333	1,378	1,333	1,378	1,378	1,333	1,378	1,333	1,378	16,2
Valaistussähkö	Käyttäjä	2,066	1,866	2,066	2,000	2,066	2,000	2,066	2,066	2,000	2,066	2,000	2,066	24,3
Yhteenveto:														MWh
Lämmitysenergia		118	105	100	56	25	12	5	10	29	62	90	108	720
Jäähdytysenergia		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LVI, muu sähkö		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	51
Valaistussähkö		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
Laitesähkö		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
Kiinteistö- ja käyttäjäsähkö														MWh
Kiinteistösähkö		4,3	3,9	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3	4,3	4,2	4,3	4,2	4,3	50,5
Käyttäjäsähkö		3,4	3,1	3,4	3,3	3,4	3,3	3,4	3,4	3,3	3,4	3,3	3,4	40,5

DATA:

Kuorma	Kust. jaottelu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	MWh
Lämmin käyttövesi	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Lämmitys, muu	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Lämmitys, tilat	Kiinteistö	124,651	110,236	102,279	52,727	18,924	7,327	1,700	6,098	24,714	62,519	95,062	114,493	720,7
Lämmitys, IV-koneet	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Jäähdytysenergia	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Puhallinsähkö	Kiinteistö	3,656	3,302	3,656	3,538	3,656	3,538	3,656	3,656	3,538	3,656	3,538	3,656	43,0
LVI, muu sähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Laitesähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Valaistussähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Laitesähkö	Käyttäjä	1,378	1,244	1,378	1,333	1,378	1,333	1,378	1,378	1,333	1,378	1,333	1,378	16,2
Valaistussähkö	Käyttäjä	2,066	1,866	2,066	2,000	2,066	2,000	2,066	2,066	2,000	2,066	2,000	2,066	24,3
Yhteenveto:														MWh
Lämmitysenergia		125	110	102	53	19	7	2	6	25	63	95	114	721
Jäähdytysenergia		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LVI, muu sähkö		4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	43
Valaistussähkö		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
Laitesähkö		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
Kiinteistö- ja käyttäjänsähkö														MWh
Kiinteistösähkö		3,7	3,3	3,7	3,5	3,7	3,5	3,7	3,7	3,5	3,7	3,5	3,7	43,0
Käyttäjäsähkö		3,4	3,1	3,4	3,3	3,4	3,3	3,4	3,4	3,3	3,4	3,3	3,4	40,5

[illegible]

DATA:

Kuorma	Kust. jaottelu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	MWh
Lämmin käyttövesi	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Lämmitys, muu	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Lämmitys, tilat	Kiinteistö	100,547	89,651	83,686	43,647	16,000	6,516	1,781	4,808	19,815	49,576	76,061	91,944	584,0
Lämmitys, IV-koneet	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Jäähdytysenergia	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Puhallinsähkö	Kiinteistö	3,656	3,302	3,656	3,538	3,656	3,538	3,656	3,656	3,538	3,656	3,538	3,656	43,0
LVI, muu sähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Laitesähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Valaistussähkö	Kiinteistö	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
Laitesähkö	Käyttäjä	1,378	1,244	1,378	1,333	1,378	1,333	1,378	1,378	1,333	1,378	1,333	1,378	16,2
Valaistussähkö	Käyttäjä	2,066	1,866	2,066	2,000	2,066	2,000	2,066	2,066	2,000	2,066	2,000	2,066	24,3
Yhteenveto:														MWh
Lämmitysenergia		101	90	84	44	16	7	2	5	20	50	76	92	584
Jäähdytysenergia		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LVI, muu sähkö		4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	43
Valaistussähkö		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
Laitesähkö		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
Kiinteistö- ja käyttäjäsjähkö														MWh
Kiinteistösähkö		3,7	3,3	3,7	3,5	3,7	3,5	3,7	3,7	3,5	3,7	3,5	3,7	43,0
Käyttäjäsähkö		3,4	3,1	3,4	3,3	3,4	3,3	3,4	3,4	3,3	3,4	3,3	3,4	40,5